

УДК 629.4.02

*В.И. Сенько, А.В. Путьто***ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЕ ВАГОНА БУНКЕРНОГО ТИПА  
В ВАГОН-ПЛАТФОРМУ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ**

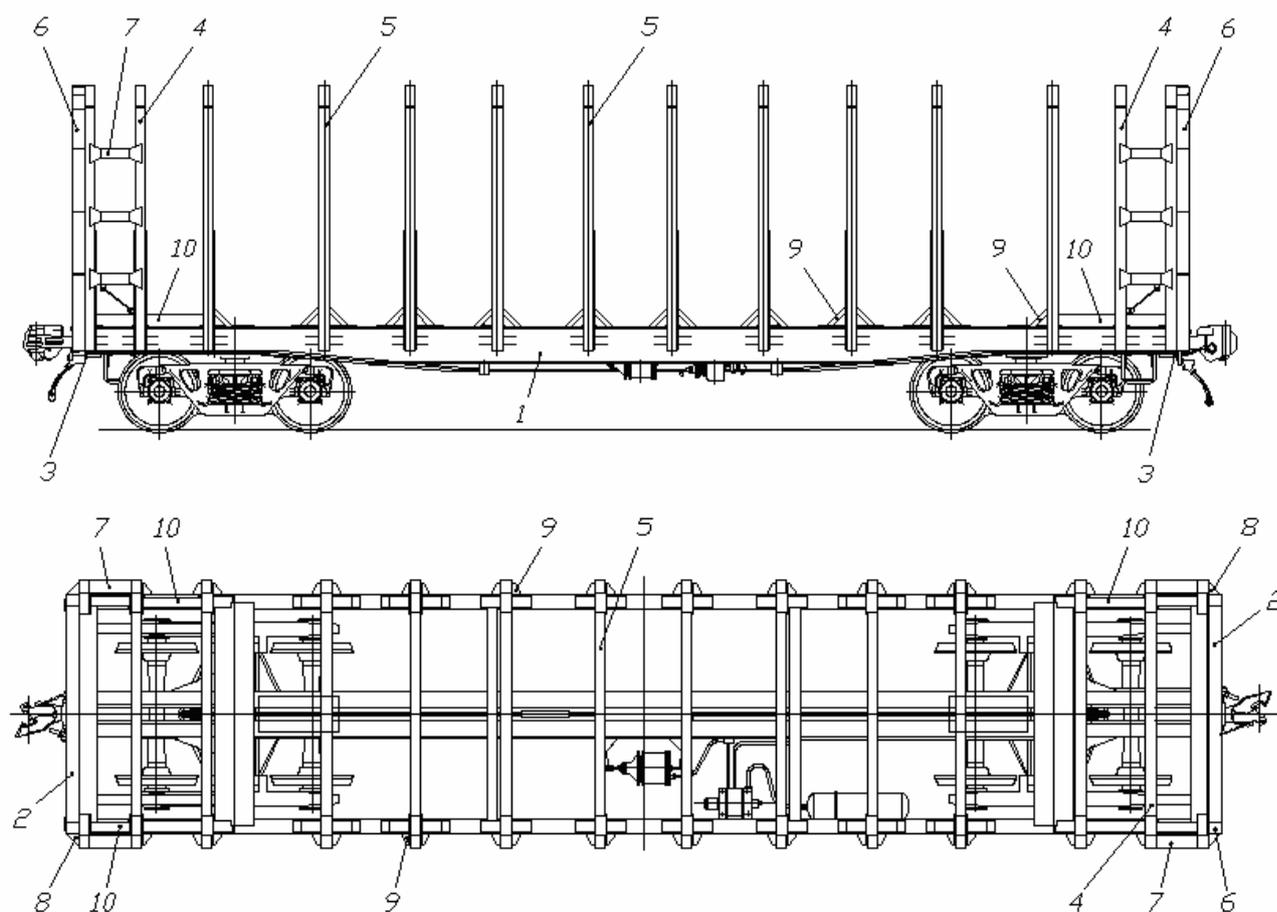
Успешное решение задач по повышению грузооборота на железнодорожном транспорте требует обеспечения безопасной, безотказной работы его подвижного состава и достаточной обеспеченности специализированными вагонами располагаемого рабочего вагонного парка железных дорог. Для пополнения рабочего парка подвижного состава на Белорусской железной дороге на период до 2015 года предусмотрены значительные поставки новых вагонов [1]. В условиях недостаточности средств для закупки новых специализированных вагонов для перевозки специфических для Республики Беларусь грузов, а также с целью обеспечения грузовых перевозок надлежащим подвижным составом представляются вполне приемлемыми принимаемые технические решения по переоборудованию имеющихся в наличии неиспользуемых специализированных вагонов грузового парка для обеспечения перевозки более востребованных в сложившихся условиях грузов. Это позволяет обеспечить перевозки по республике, странам дальнего и ближнего зарубежья дополнительным подвижным составом, высвобожденным от ненужных внутренних перевозок, частично сократить потребности в затратах на приобретение новых специализированных вагонов, уменьшить необходимый объём новых закупок.

В этом аспекте рассмотрен вопрос о переконструировании невостребованных четырёхосных платформ для перевозки нефтебитума модели 17–494 постройки Днепродзержинского вагоностроительного завода, изготовленных по техническим условиям ТУ 24.05.426–84. Перепрофилирование бункерного вагона для перевозки нефтебитума в специализированную платформу включает операции по замене его конструктивных узлов. Сначала демонтируют ёмкости для нефтебитума, т.е. бункеры с торцовыми и промежуточными опорными частями их установки и крепления. Затем жёстко закрепляют с помощью электросварки заранее заготовленные сварные, обшитые металлическим листом, армированные торцовые стенки в вертикальных плоскостях концевых балок рамы вагона, а между ними приваривают равномерно вдоль этой рамы вагона на расстояниях, необходимых для размещения лесоматериалов заданной длины, промежуточные оппозитно расположенные на боковых балках указанной рамы, и жёстко скреплённые между собой попарно в поперечном направлении вертикальные стойки в виде комплекта рам бокового ограждения кузова создаваемого вагона-платформы для перевозки лесных грузов. По концам вагона крайние из упомянутых промежуточных рам бокового ограждения жёстко закрепляют со сдвоенными крайними стойками соответствующей торцевой стены с помощью дополнительных продольных боковых балок, равномерно расположенных по высоте торцевой стены.

Указанные крайние торцовые стойки закрепляют электросваркой на внешних боковых поверхностях концевых балок рамы вагона и её боковых продольных балок. Каждая упомянутая стойка изготовлена в виде двух балок замкнутого прямоугольного коробчатого профиля, при этом они размещены под прямым углом друг к другу с продольным их взаимным прилеганием по образующей, проходящей по вершинам углов коробчатых профилей каждой. С наружной стороны этих коробчатых балок жёстко закрепляют горизонтально расположенные усиливающие элементы, равномерно размещая их по высоте торцевой стены. Каждую раму бокового ограждения жёстко закрепляют с помощью поперечных и продольных скрепляющих элементов на боковых балках рамы вагона, при этом последнюю укрепляют в каждой концевой части путём установки двух продольных усиливающих боковых балок из коробчатых профилей.

Таким образом, предлагаемый способ перепрофилирования бункерного вагона с заменой его конструктивных узлов позволяет осуществить модернизацию железнодорожных специализированных нефтебитумных вагонов для их использования по новому назначению, в частности для перевозки лесных грузов (лесоматериалов), а также сократить затраты на переоборудование и обеспечить повышение безопасности перевозок. Общий вид переоборудованного бункерного вагона для нефтебитума в платформу для перевозки лесных грузов показан на рис. 1.

Порядок операций по переоборудованию следующий. С рамы 1 базового вагона демонтируют бункеры для нефтебитума с торцовыми и промежуточными опорными частями для их установки и крепления (на чертеже условно не показаны). Затем закрепляют с помощью электросварки обшитые металлическим листом армированные торцовые стенки 2 по концевым балкам 3 рамы 1 вагона, а между ними приваривают вдоль по боковым балкам рамы 1 с опорой на хребтовую балку последний комплект рам бокового ограждения 4, 5. Крайние рамы 4 жёстко скрепляют со сдвоенными крайними стойками 6 торцовых стен 2 с помощью дополнительных продольных балок 7. Торцовые стойки 6 закрепляют электросваркой на внешних боковых поверхностях концевых балок 3 рамы вагона и её боковых продольных балок, при этом каждую торцовую стойку выполняют в виде двух балок с продольным их взаимным прилеганием, а с наружной стороны эти коробчатые балки соединяют горизонтальными усиливающими элементами 8. Каждую раму бокового ограждения жёстко закрепляют с помощью элементов крепления 9, при этом раму 1 укрепляют боковыми усиливающими балками 10.



**Рис. 1. Вагон-лесовоз, переоборудованный из бункерного вагона для перевозки нефтебитума**

При разработке вариантов эскизного проектирования проводилось сравнение получаемых прочностных характеристик по несущим элементам с показателями базовой конструкции, принимались технические решения, требующие наименьших материальных и трудовых затрат. При многоэтапном конструировании вагона следует отметить трудности, возникающие в процессе разработки консольной части вагона, что связано со спецификой эксплуатационной нагруженности кузова лесовоза при соударении вагонов и отсутствием боковых верхних обвязок.

Расчетная конечно-элементная модель металлоконструкции кузова вагона-платформы создавалась в соответствии с конструкторской документацией 494.00.00.000СБ отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Технические и технологические оценки ресурса единиц подвижного состава» с использованием программного комплекса DSMFEM, разработанного на кафедре «Динамика и прочность машин» Брянского государственного технического университета. Для построения модели использовались два типа конечных элементов: плоские пластинчатые 3- и 4-угольные. Параметры расчетной модели следующие: количество узлов – 88425, количество конечных элементов – 74350. Модуль упругости материала принимался равным  $2,1 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона 0,3. На рис. 2 приведена конечно-элементная модель кузова вагона-платформы для перевозки лесных грузов модели 17-494-01, с использованием которой выполнен полный комплекс динамико-прочностных расчетов спроектированной конструкции в соответствии с требованиями «Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [2].

К наиболее опасному режиму относится ударное нагружение конструкции. Рассмотрим схему нагружения кузова при указанном режиме.

#### **1 Продольная нагрузка**

Согласно «Нормам...»  $N = -3,5$  МН прикладывается к заднему упору автосцепного устройства.

Продольная сила инерции кузова учитывается автоматически путем наложения на элементы металлоконструкции вагона нормированного продольного ускорения  $3,5g$ .

Торцовая стена кузова рассчитывается на равномерно распределенное динамическое давление груза, возникающее при соударении вагонов от действия силы инерции массы груза, равной  $0,35$  грузоподъемности вагона при нормативном продольном ускорении.

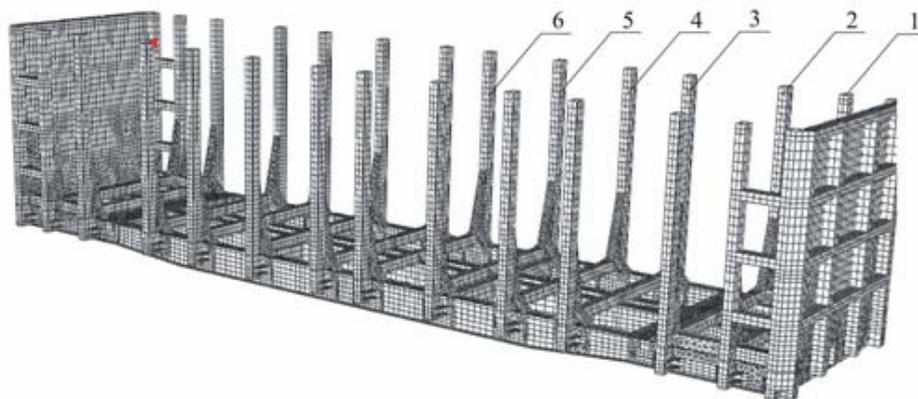
Силу инерции определяем по формуле

$$N_{и} = m a_x,$$

где  $m$  – масса груза,  $m = 0,35 \cdot 60 = 21$  т;

$a_x$  – нормированная величина продольного ускорения (замедления),  $a_x = 3,5g$ ,

$$N_{и} = 21 \cdot 10^3 \cdot 3,5 \cdot 9,81 = 721 \text{ кН}.$$



**Рис. 2. Конечно-элементная модель кузова вагона-платформы модели 17-494-01**

При выполнении расчета на удар «Нормами...» не регламентировано распределение оставшейся продольной нагрузки по элементам кузова. Принято решение оставшиеся 65 % силы инерции груза, составляющей 1,34 МН, распределить по лесным рамам (основание и стойка). Таким образом, на одну лесную раму действует 0,112 МН. Распределение полученной нагрузки на основание и стойки лесной рамы с учетом отношения соответствующих площадей позволило определить нагрузки, действующие на основание и пару стоек лесной рамы:  $f_{осн} = 33,6$  кН;  $f_{ст} = 78,4$  кН. Кроме того, приложение найденных сил на стойки выполнялось с учетом линейной зависимости нагрузки от высоты стойки, причем нулевое значение принято на верхней границе загрузки вагона.

### 2 Вертикальная нагрузка

К вертикальной нагрузке относится сила тяжести брутто вагона, которая учитывается автоматически через известное гравитационное поле и плотность материала при учете массы металлоконструкции кузова вагона, а также путем равномерного распределения по основаниям лесных рам веса перевозимого груза, соответствующего грузоподъемности вагона (60 т).

### 3 Самоуравновешенные нагрузки

К самоуравновешенным нагрузкам относятся силы распора скатывающихся грузов. По I режиму проводится расчет боковых стоек кузова на давление распора при перевозке труб, бревен и других скатывающихся грузов, которое определяется выражением

$$p_a = (1 + K_{дв}) \gamma g y \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right),$$

где  $K_{дв}$  – коэффициент вертикальной динамики, принимается при расчете по I режиму  $K_{дв} = 0,1$ ;

$\gamma$  – плотность груза определяется как частное от деления грузоподъемности вагона на объем кузова,  $\gamma = 60/100 = 0,6$  т/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения;

$y$  – расстояние от поверхности груза до точки, в которой определяется давление ( $y_{\max} = 2,78$  м);

$\varphi$  – угол естественного откоса груза, образуемый поверхностью свободно насыпанного груза с горизонтальной плоскостью, в нашем случае  $\varphi = 0$ .

Таким образом, максимальное давление на основание условной боковой стены

$$p_a = (1 + 0,1) \cdot 600 \cdot 9,8 \cdot 2,78 \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} \right) \cdot 10^{-3} = 17,98 \text{ кПа}.$$

Определим максимальное давление, действующее на основание каждой стойки (нумерация принята согласно приведенной на рис. 2) по формуле

$$p_i^{\max} = \frac{p_a (l_i + l_{i+1})}{2b},$$

где  $l_i, l_{i+1}$  – длины пролетов между соседними стойками;

$b$  – ширина стойки,  $b = 12$  см.

Следовательно, получаем:

$$p_1^{\max} = \frac{p_a(l_1 + l_2)}{2b} = \frac{17,98 \cdot (2 \cdot 68 + 83,5)}{2 \cdot 12} = 164 \text{ кПа};$$

$$p_2^{\max} = \frac{p_a(l_2 + l_3)}{2b} = \frac{17,98 \cdot (83,5 + 142,1)}{2 \cdot 12} = 169 \text{ кПа};$$

$$p_3^{\max} = \frac{p_a(l_3 + l_4)}{2b} = \frac{17,98 \cdot (142,1 + 93,5)}{2 \cdot 12} = 176 \text{ кПа};$$

$$p_4^{\max} = \frac{p_a(l_4 + l_5)}{2b} = \frac{17,98 \cdot (93,5 + 119,4)}{2 \cdot 12} = 159 \text{ кПа};$$

$$p_5^{\max} = \frac{p_a(l_5 + l_6)}{2b} = \frac{17,98 \cdot (119,4 + 118)}{2 \cdot 12} = 178 \text{ кПа};$$

$$p_6^{\max} = \frac{p_a(l_6 + l_7)}{2b} = \frac{17,98 \cdot (118 + 118)}{2 \cdot 12} = 177 \text{ кПа}.$$

При расчете к стойкам прикладывалось давление, изменяющееся от нуля в верхней части стойки до максимального значения у ее основания. Градиенты изменения давления для каждой стойки

$$dp_i = \frac{p_i^{\max}}{y_{\max}};$$

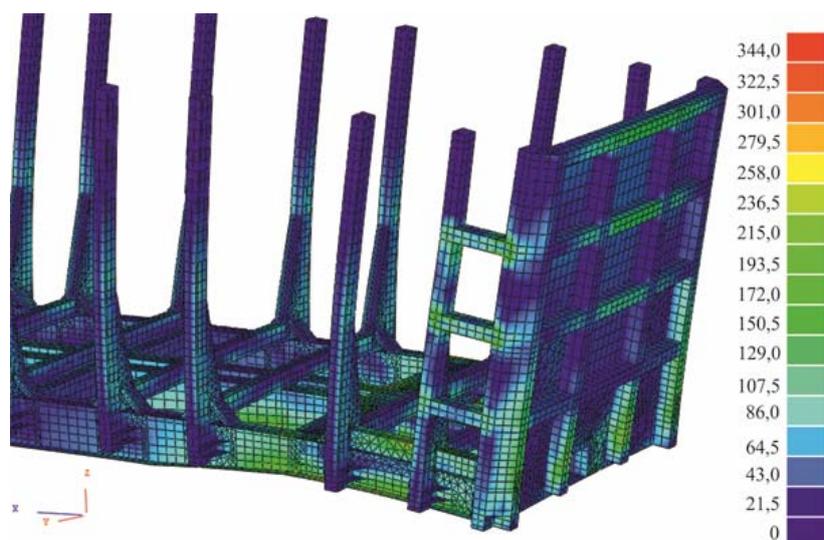
$$dp_1 = -\frac{164}{2,78} = -59,0 \frac{\text{кПа}}{\text{м}}; \quad dp_2 = -\frac{169}{2,78} = -60,8 \frac{\text{кПа}}{\text{м}};$$

$$dp_3 = -\frac{176}{2,78} = -63,3 \frac{\text{кПа}}{\text{м}}; \quad dp_4 = -\frac{159}{2,78} = -57,2 \frac{\text{кПа}}{\text{м}};$$

$$dp_5 = -\frac{178}{2,78} = -64,0 \frac{\text{кПа}}{\text{м}}; \quad dp_6 = -\frac{177}{2,78} = -63,7 \frac{\text{кПа}}{\text{м}}.$$

Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах крепления упоров автосцепного устройства и пятников.

После проведения расчета были получены значения напряжений для всех конечных элементов металлоконструкции кузова платформы. На рис. 3 показано распределение эквивалентных напряжений в кузове спроектированного вагона при ударном нагружении.



**Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений (МПа) при ударном нагружении**

Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения в хребтовой балке возникают в зоне, находящейся за узлом сочленения со шкворневой балкой в нижней части (293,6 МПа). Шквор-

невая балка максимально нагружена в области соединения с дополнительной продольной балкой в консольной части вагона (289,2 МПа). Наиболее нагруженная область у концевой балки – зона сочленения с хребтовой балкой в верхней части (283,8 МПа). В боковой балке высокие напряжения (278,5 МПа) зафиксированы в нижней полке в области сочленения со шкворневой балкой. Максимальные эквивалентные напряжения в лесной раме возникают в области соединения стойки с основанием при первой лесной раме и достигают 340 МПа.

В подкрепляющих швеллерах лесных рам в зоне соединения с боковой балкой напряжения составляют 344,5 МПа при пределе текучести материала 345 МПа, а максимальные эквивалентные напряжения в стойках торцевого щита зафиксированы в месте соединения с консольной балкой (327,8 МПа).

В целом результаты расчета показали, что несущая способность при ударном нагружении кузова вагона находится в предельном состоянии.

На основании выполненных проектных работ в вагонном депо станции Орша Белорусской железной дороги построен опытный образец вагона-платформы для перевозки лесных грузов модели 17-494-01 (рис. 4).



Рис. 4. Исходный и переоборудованный вагоны

Учитывая неизбежную погрешность расчетных методов оценки напряженно-деформированного состояния, результаты расчетов верифицированы при проведении сертификационных испытаний построенного вагона с привлечением специалистов испытательного центра ОАО «НВЦ «Вагоны» (г. Санкт-Петербург, Россия). При проверке прочности кузова вагона на действие ударных нагрузок испытываемый вагон накатывался на вагоны подпоры. Выполненные испытания показали, что динамические напряжения в конструкции лесных стоек и торцевой стены опытного образца переоборудованного вагона не превышают допустимых величин. Таким образом, по результатам проведенного комплекса испытаний сделан вывод, что опытный образец четырехосной платформы для перевозки лесных грузов, переоборудованный из вагона для нефтебитума модели 17-494, по проекту АЛ-ВЯ 494.00.00.000 в соответствии с требованиями ТУ ВУ 100003499.001-2008 в вагонном депо Орша Белорусской железной дороги удовлетворяет условиям прочности.

Техническая документация на изготовление платформ-лесовозов согласована на заседании Комиссии Совета по железнодорожному транспорту полномочных специалистов вагонного хозяйства железнодорожных администраций. По результатам выполненного проекта в вагонном депо Орша Белорусской железной дороги переоборудовано 157 вагонов, успешно эксплуатируемых в настоящее время.

#### Библиографический список

- 1 Сенько, В.И. Информационные модели в управлении вагонными парками / В.И. Сенько, Е.П. Гурский. – Гомель : УО «БелГУТ», 2010. – 296 с.
- 2 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (не-самоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.

#### Bibliography

- 1 Senko, V.I. Information models in the management of the rolling stock / V.I. Senko, E.P. Gursky. – Gomel: UO «BelGUT», 2010. – 296 p.
- 2 Norms for the calculation and design of a railway carriage of the MPS 1520 mm gauge (non-mobile) / Research Institute-VNIIZhT. – Moscow, 1996. – 319 p.